



Влияние геометрии оптического волокна на выходное лазерное излучение

Р. Р. Кашина¹, Ю. А. Конин^{1,2}, Ю. А. Великоцкий^{1,3},
А. Р. Рахматуллина^{1,3}, А. Ю. Петухова^{1,3},
В. А. Щербакова^{1,3}, В. Б. Ромашова⁴

¹ ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания», г. Пермь

² Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург

³ Пермский научный исследовательский политехнический университет, г. Пермь

⁴ АО «ЛЛС», г. Санкт-Петербург

Настоящая работа посвящена характеристике профиля пучка, выходящего из оптического волокна с двойной оболочкой и имеющего разную геометрию сечения. Исследовано влияние геометрии первой оболочки волокна на функцию смешения мод. Определена эффективность трансфера накачки из оболочки в сердцевину.

Ключевые слова: АО «ЛЛС», волоконно-оптические компоненты, оптическое волокно, профиль пучка, волоконный лазер, FocusLight, Nufern, Fujikura, Standa, фотоника

Статья получена: 21.01.2021

Принята к публикации: 15.02.2021

ВВЕДЕНИЕ

Волоконный лазер или усилитель на базе стандартных активных одномодовых волокон может генерировать лазерный выходной луч дифракционного качества, но он ограничен источником накачки и процентом эффективности лазерного преобразования [1]. Для лазерных применений очень важно иметь четкий и качественный пучок выходного излучения. Однако использование активных многомодовых волокон зачастую приводит к плохому качеству выходного пучка.

Сильнейшим прогрессивным достижением в наше время стало появление оптических волокон с двойной оболочкой [2]. Данная технология позволяет сконструировать волоконный лазер, пучок которого на выходе имеет мощность более 1 кВт [3, 4].

Dependence of the Output Laser Radiation on Geometry of the Optical Fiber

R. R. Kashina¹, Yu. A. Konin^{1,2}, Yu. A. Velikotsky^{1,3},
A. R. Rakhmatullina^{1,3}, A. Yu. Petukhova^{1,3},
V. A. Shcherbakova^{1,3}, V. B. Romashova⁴

¹ Perm Research and Production Instrument-Making company PJSC, Perm

² ITMO University, St. Petersburg

³ Perm Research Polytechnic University, Perm

⁴ SC "LLS", St. Petersburg

This research is devoted to characterizing the profile of a beam emerging from a double-clad optical fiber and having different cross-sectional geometries. The influence of the first fiber cladding geometry on the mode mixing function was investigated. The efficiency of the clad-core mode transferring is determined.

Keywords: SC "LLS", fiber-optic components, optical fiber, beam profile, fiber laser, FocusLight, Nufern, Fujikura, Standa, photonics

Received: 21.01.2021

Accepted: 15.02.2021

INTRODUCTION

A fiber laser or amplifier based on standard active single-mode fibers can generate a diffraction-quality laser output beam, but it is limited by the pump source and the percentage of laser conversion efficiency [1]. For laser applications, it is very important to have a clear and high quality output beam. However, the use of active multimode fibers often results in poor output beam quality.

The strongest progressive achievement in our time has become the appearance of double-clad optical fibers [2]. This technology makes it possible to design a fiber laser, the output of which has a power of more than 1 kW [3, 4].

The problem of obtaining a high quality output beam and high power conversion was solved with the advent of double-clad fibers. The whole point of the technology is that when using an optical fiber in a double cladding, the pump radiation does not immediately enter the fiber core, but first enters its cladding [5]. Then, the pumping power is transferred from the cladding to the core, which, in turn, is doped with ions of rare-earth elements. They

Проблема с получением высокого качества выходного пучка и высоким преобразованием мощности решилась с появлением волокон в двойной оболочке. Вся суть технологии в том, что при использовании оптического волокна в двойной оболочке излучение накачки попадает не сразу в сердцевину волокна, а сначала попадает в ее оболочку [5]. Далее происходит перекачка мощности накачки из оболочки в сердцевину, которая, в свою очередь, легирована ионами редкоземельных элементов. Они поглощают фотоны излучения накачки и генерируют когерентное излучение на необходимой длине волны. Следует учитывать тот факт, что для лазеров высокой мощности невозможно ввести излучение накачки с высокой мощностью непосредственно в сердцевину волокна.

Радиус внутренней оболочки больше радиуса сердцевины. Сечение внутренней оболочки может иметь не только круглую геометрию, но и одну или несколько граней (рис. 1).

Волокно самой простой конструкции имеет круглую оболочку накачки и центрированную сердцевину (см. рис. 1 – *centered core*). Такую конструкцию легко реализовать в технологическом процессе и стыковать с рядом пассивных компонентов. Но в волокнах такого типа существуют моды распространения внутренней оболочки (относящиеся к спиральным лучам), которые почти не перекрываются с сердцевиной. Из-за этого значительная часть излучения накачки не поглощается полностью [7, 8]. В результате снижается коэффициент усиления и энергоэффективность накачки.

Можно избежать появления режимов с плохим перекрытием мод, используя модифицированную конструкцию с более низкой симметрией. Примерами являются конструкции со смещенным от центра сердцевины или некруглой внутренней оболочкой (см. рис. 1: например *elliptical inner cladding*,

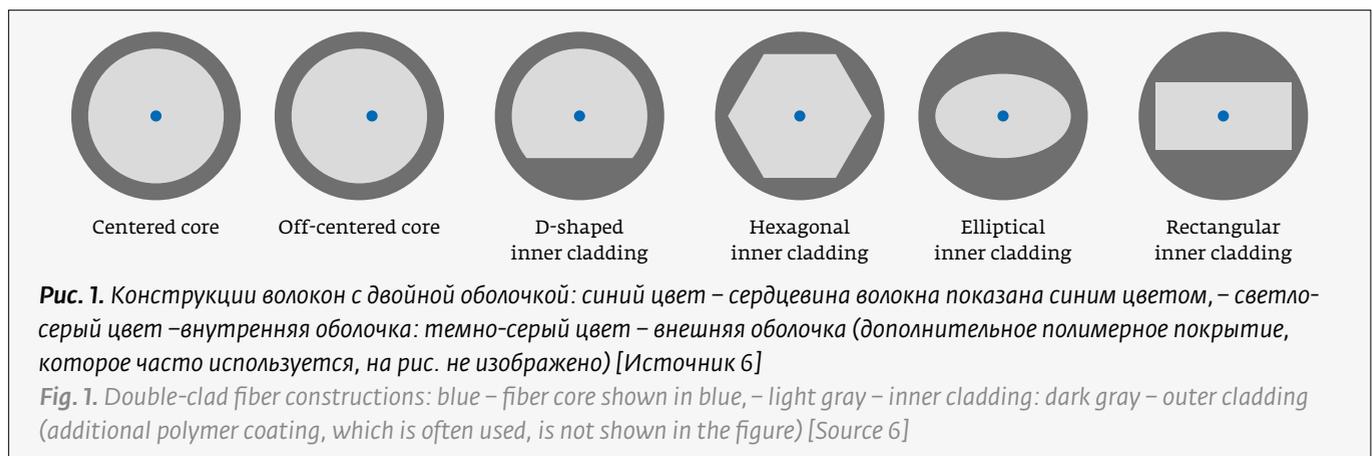
absorb pump radiation photons and generate coherent radiation at the desired wavelength. It should be borne in mind that for high-power lasers it is impossible to inject high-power pump radiation directly into the fiber core.

The radius of the inner cladding is greater than the radius of the core. The section of the inner cladding can have not only circular geometry, but have one or several faces (Fig. 1).

The simplest fiber design has a round pump cladding and a centered core (see Fig. 1 – *centered core*). This design is easy to implement in the technological process and to dock with a number of passive components. However, in fibers of this type, there are propagation modes of the inner cladding (referring to spiral beams), which almost do not overlap with the core. Because of this, a significant part of the pump radiation is not completely absorbed [7, 8]. As a result, the gain and pump energy efficiency are reduced.

Poor core overlap modes can be avoided by using a modified design with lower symmetry. Examples are designs with an off-center or non-circular inner cladding (see Figure 1: e.g., elliptical inner cladding, D-shaped, or rectangular). Pump claddings are also often better suited to the shape of the pump beam, such as diode rods. However, when splicing them together, problems arise if the entire fiber (not just the cladding) is non-circular.

In addition to the physical characteristics of the fiber core, an important parameter is the ratio of the cross-sectional areas of the inner cladding and the core. This area ratio should not be too high. Otherwise, the effective absorption length of the pump becomes large, and the pump intensity in the core becomes small, which leads to low excitation levels, and this leads to a decrease in energy efficiency [9]. Usually, the ratio between the areas is maintained in the range of 100 to 1000. Pump sources with improved brightness allow the use of fibers with a smaller area ratio and, therefore, a shorter effective pump absorption length, which also reduces the effect of various types of nonlinearities.





D-shaped или rectangular). Такие оболочки накачки также часто лучше соответствуют форме пучка накачки, например диодным стержням. Однако при их соединении методом сварки волокон возникают проблемы, если все волокно (не только оболочка) имеет некруглую форму.

Помимо физических характеристик сердцевины световода важным параметром является соотношение площадей сечений внутренней оболочки и сердцевины. Это соотношение площадей не должно быть слишком большим. В противном случае эффективная длина поглощения накачки становится большой, а интенсивность накачки в сердцевине – малой, что приводит к низким уровням возбуждения, а это ведет к снижению энергоэффективности [9]. Обычно выдерживают соотношение между площадями в диапазоне величин 100–1000. Источники накачки с улучшенной яркостью позволяют использовать волокна с меньшим соотношением значений площадей, а значит, и меньшей эффективной длиной поглощения накачки, что также снижает влияние различных типов нелинейностей.

Неполное поглощение излучения накачки может возникать в результате появления мод оболочки со слабым перекрытием сердцевины. Даже если с помощью подходящей конструкции волокна удастся обеспечить сильное смешение мод, поглощение накачки уменьшается из-за ограниченного перекрытия света накачки с сердцевиной легированного волокна. Поэтому обычно стремятся обеспечить большую длину активного волокна. Хотя, в свою очередь, это может быть вредным, например, с точки зрения влияния нелинейных эффектов.

Кроме того, высокая концентрация ионов примеси может затруднить работу лазера или усилителя с короткими длинами волн излучения, а увеличенный вклад флуоресценции может снизить эффективность преобразования энергии.

Другие вредные воздействия связаны с выходом части излучения из сердцевины в оболочку накачки, что возникает, например, в результате изгиба или при использовании волоконной брэгговской решетки. Это излучение останется в оболочке накачки и не выйдет наружу (как бывает в случае использования других волокон) через покрытие. Для удаления такого излучения, если оно дает шумовой вклад на выходе устройства, может потребоваться стриппер оболочечных мод (CPS).

Для анализа распространения пучков в волокне с двойной оболочкой можно использовать профилометры выходного пучка. Многие профилометры пучка базируются на цифровых камерах: для види-

Incomplete absorption of pump radiation can result from the appearance of cladding modes with weak core overlap. Even if strong mode mixing can be achieved with a suitable fiber design, the pump absorption is reduced due to the limited overlap of the pump light with the doped fiber core. Therefore, it is usually sought to provide a long active fiber. Although, in turn, this can be harmful, e.g., from the point of view of the influence of non-linear effects.

Furthermore, a high concentration of impurity ions can make it difficult for a laser or amplifier to operate at short wavelengths of radiation, and the increased contribution of fluorescence can reduce the energy conversion efficiency.

Other harmful effects are associated with the release of some of the radiation from the core into the pump cladding, which occurs, e.g., as a result of bending or when using a fiber Bragg grating. This light will remain in the pump cladding and will not escape (as is the case with other fibers) through the coating. A cladding-mode stripper (CPS) may be required to remove such radiation if it contributes to the noise output of the device.

Output beam profilometers can be used to analyze beam propagation in double-clad fiber. Many beam profilometers are based on digital cameras: for the visible and near infrared spectral regions, CMOS and CCD cameras are the most suitable for measuring complex beam shapes.

Different wavelength ranges require different types of detectors. Silicon detectors are used for visible and NIR wavelengths up to 1.0–1.1 μm , while InGaAs detectors can be used for IR wavelengths up to $\approx 1.7 \mu\text{m}$.

The spatial resolution of the camera sensor is an important parameter. In silicon detectors, pixel sizes reach less than 10 μm , which makes it possible to measure beams with a diameter of up to 50 μm .

Most cameras are highly sensitive to light. The advantage of using them in problems of detecting weak signals becomes an obstacle in measuring the beam profile. Since the sensitivity turns out to be much greater than required for measurements.

In the profilometer, the registered beam profile can be shown on the monitor, possibly together with the measured parameters: the radius of the beam, the position of the beam, ellipticity, data on statistical values or noises. The software allows you to choose between different methods for determining the beam radius: by the criterion of reducing the beam power by a factor of e^2 (criterion $1/e^2$) or the 4σ method.

This research is devoted to characterizing the profile of a beam emerging from a double-clad optical fiber and having different cross-sectional geometries. The efficiency of the output radiation is determined.

мой и ближней ИК-области спектра для измерений луча сложной формы наиболее подходящими являются CMOS- и CCD-камеры.

Для разных диапазонов длин волн требуются разные типы детекторов. Кремниевые детекторы используются для длин волн в видимой и ближней ИК-области спектра до 1,0–1,1 мкм, в то время как детекторы на основе InGaAs могут быть использованы для ИК-длин волн до $\approx 1,7$ мкм.

Пространственное разрешение сенсора камеры является важным параметром. В кремниевых детекторах размеры пикселей достигают менее 10 мкм, что позволяет измерять пучки диаметром до 50 мкм.

Большинство камер имеет высокую светочувствительность. То, что является преимуществом их использования в задачах детектирования слабых сигналов, становится преградой в измерениях профиля пучка, так как чувствительность оказывается гораздо большей, чем требуется для измерений.

В профилометре на мониторе может быть показан зарегистрированный профиль пучка, возможно, вместе с измеряемыми параметрами: радиусом сечения пучка, положением пучка, эллиптичностью, данными по статистическим величинам или шумам. Программное обеспечение позволяет остановить выбор между различными методами определения радиуса пучка: по критерию уменьшения мощности пучка в e^2 раз (критерий $1/e^2$) или по методу 4σ .

Настоящая работа посвящена характеристике профиля пучка, выходящего из оптического волокна с двойной оболочкой и имеющего разную геометрию сечения. Определена эффективность выходного излучения.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследование распространяющегося по оптическому волокну излучения производилось на лабораторном макете для исследования профиля пучка. Лабораторный макет состоит из лазерного диода накачки FocusLight с длиной волны 976 нм, волокна доставки Nufern MM105/125, приваренного к исследуемому волокну, держателю волокна Fujikura FH-60-DC250, постаментов Standa 3PH, рельсовой подвижки Standa 20R6 и камеры WinCamD-LCM, набора нейтральных фильтров ND1-ND5.

Исследованию подвергли активные волокна с двойной оболочкой, легированные ионами эрбия и иттербия, модели MM-EYDF-10/125-XP и MM-EYDF-10/125-XPB.

На макете измеряли профиль расходящегося пучка излучения для оценки эффективности поглощения излучения накачки. Камера профилометра

EXPERIMENTAL PART

The study of radiation propagating along the optical fiber was carried out on a laboratory model for studying the beam profile. The laboratory model consists of a FocusLight pump laser diode with a wavelength of 976 nm, a Nufern MM105/125 delivery fiber spliced to the fiber under study, a Fujikura FH-60-DC250 fiber holder, Standa 3PH pedestals, a Standa 20R6 rail slide, and a WinCamD-LCM camera, set of neutral filters ND1-ND5.

The study was carried out on active double-clad fibers doped with erbium and ytterbium ions, models MM-EYDF-10/125-XP, and MM-EYDF-10/125-XPB.

The profile of the diverging radiation beam was measured on the prototype to assess the efficiency of absorption of pump radiation. The profilometer camera recorded the cross section of the radiation beam. Its intensity profile can be described by the function $I(x, y)$. The $I(x, y)$ value of a particular pixel corresponded to the range [0–255]. The data received by the camera was transferred to a PC and interpreted using the DataRay v.8 software.

The beam quality can be assessed by various methods, e.g., the parameter M^2 is used for Gaussian beams. But Gaussian beams propagate in single-mode fibers, and this method is incorrect for modes of operation with multimode fibers. To assess the pumping efficiency, we measured the level of the ratio of radiation propagating through the fiber core and propagating through its cladding.

RESULTS

For the first measurement, a fiber MM-EYDF-10/125-XPB with a fiber length of 10 cm was chosen. It was supplied

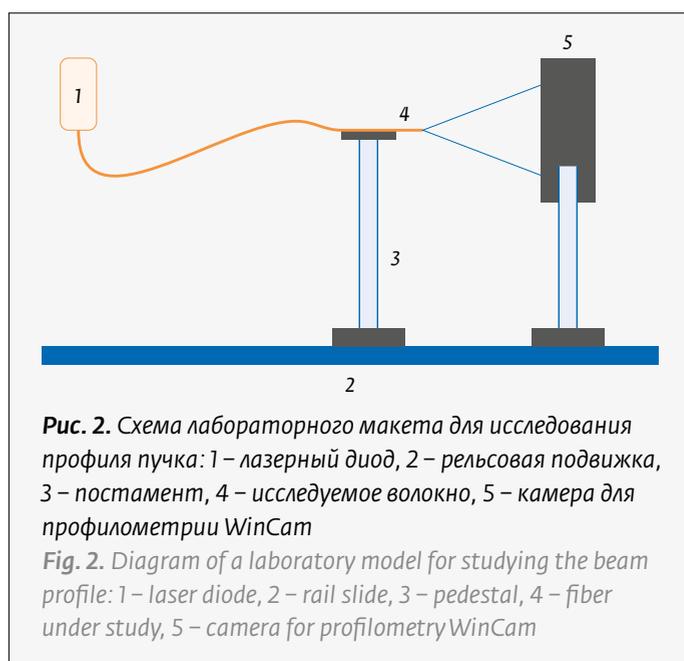


Рис. 2. Схема лабораторного макета для исследования профиля пучка: 1 – лазерный диод, 2 – рельсовая подвижка, 3 – постамент, 4 – исследуемое волокно, 5 – камера для профилометрии WinCam

Fig. 2. Diagram of a laboratory model for studying the beam profile: 1 – laser diode, 2 – rail slide, 3 – pedestal, 4 – fiber under study, 5 – camera for profilometry WinCam

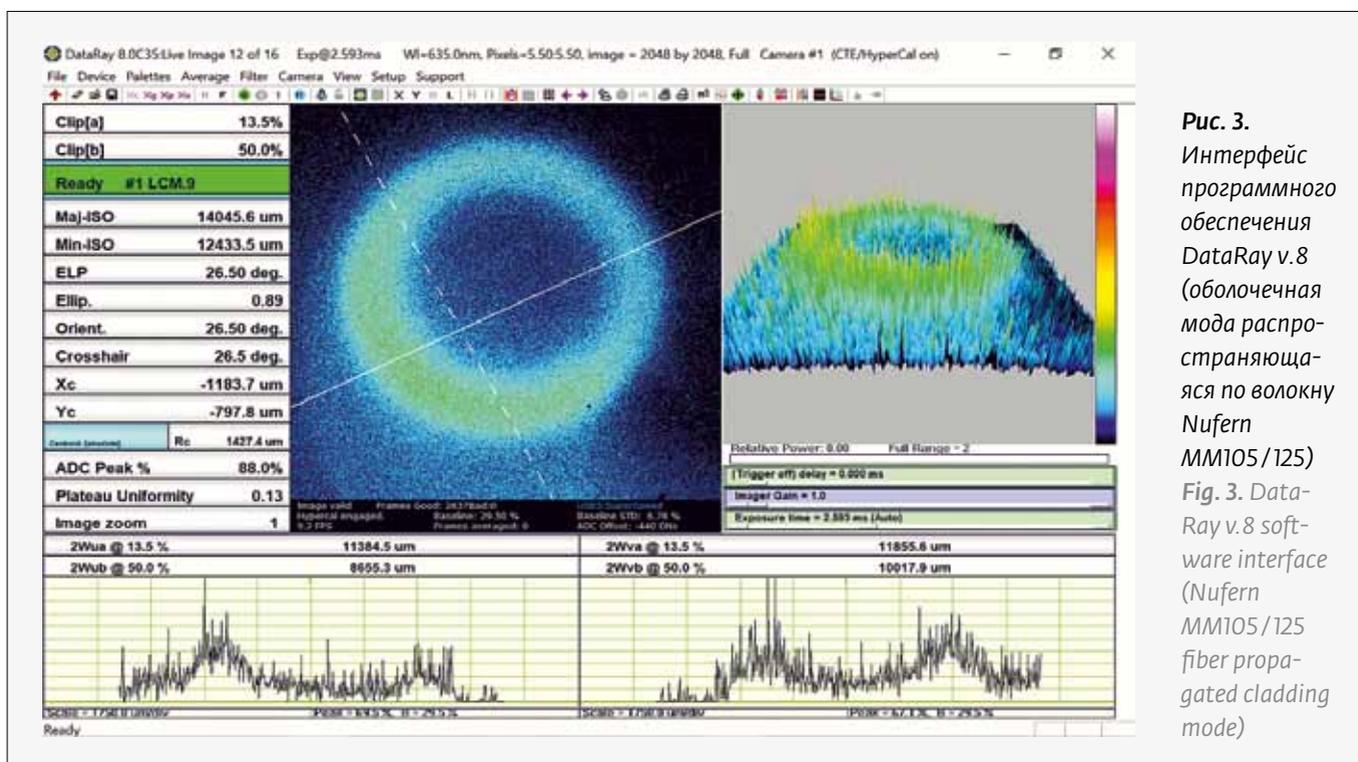


Рис. 3. Интерфейс программного обеспечения DataRay v.8 (оболочечная мода распространяющаяся по волокну Nufern MM105/125)
Fig. 3. Data-Ray v.8 software interface (Nufern MM105/125 fiber propagated cladding mode)

регистривала поперечное сечение пучка излучения. Его профиль интенсивности можно описать функцией $I(x, y)$. Значение $I(x, y)$ конкретного пиксела соответствовало диапазону [0–255]. Данные, полученные камерой, передавали на ПК и интерпретировали с помощью программного обеспечения DataRay v.8.

Качество пучка можно оценивать различными методами, например, для гауссовых пучков используется параметр M^2 . Но гауссовы пучки распространяются в одномодовых волокнах, а для режимов работы с многомодовыми волокнами такой метод некорректен. Для оценки эффективности перекачки мы измеряли уровень соотношения излучений: распространяющегося по сердцевине волокна и распространяющегося по оболочке волокна.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для первого измерения было выбрано волокно MM-EYDF-10/125-XPН, ограниченное отрезком 10 см. На него подавалось лазерное излучение с длиной волны 976 нм и мощностью 500 мВт. Профиль пучка показан на рис. 4.

with radiation with a wavelength of 976 nm and a power of 500 mW. The beam profile is shown in Fig. 4.

The beam profile has an unusual shape. As can be seen from Fig. 4, the radiation propagating along the second light-guiding cladding has an octahedral shape. In addition, there is a ring of the cladding mode, which propagates along it; between the boundaries of the first and second claddings, there is an obvious drop in power. The radiation propagating along the first light-guiding

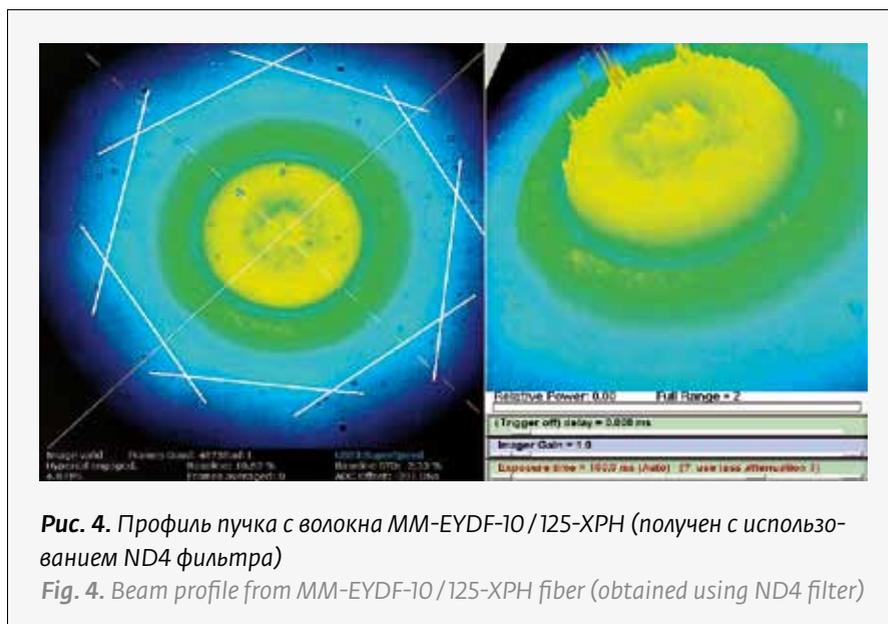


Рис. 4. Профиль пучка с волокна MM-EYDF-10/125-XPН (получен с использованием ND4 фильтра)
Fig. 4. Beam profile from MM-EYDF-10/125-XPН fiber (obtained using ND4 filter)

Профиль пучка имеет необычную форму. Как видно из рис. 4, излучение, распространяющееся по второй световедущей оболочке, имеет восьмигранную форму. Кроме того, имеется кольцо оболочечной моды, которое распространяется по ней, а между границами первой и второй оболочек имеется явный провал в мощности. Излучение, распространяющееся по первой световедущей оболочке, не имеет явно выраженного пика, но он там все же присутствует (обратите внимание на рис. 5).

Форма интенсивности излучения и на первой, и на второй оболочке имеет плоскую вершину. Это свидетельствует о том, что в исследуемом волокне реализована функция смешения мод, которая помогает перекачивать энергию из пассивной световедущей оболочки в активную жилу волокна. Измеренное значение перекачки составило 48,6%. Присутствие оболочечной моды, как в рис. 3, и провала между первой и второй световедущими оболочками свидетельствует о неполной перекачке энергии излучения – это негативный эффект. Такую оболочечную моду необходимо будет отфильтровывать с помощью модового стриппера, например при дальнейшей сборке лазера.

Для второго измерения было выбрано волокно MM-EYDF-10/125-XP с длиной 15 см. На него подавалось излучение с длиной волны 976 нм и мощностью 500 мВт. Профиль пучка показан на рис. 6.

Профиль пучка данного волокна имеет гауссоподобную форму, более напоминающую буддийскую ступу. В данном профиле не наблюдается интерфейса между оболочками, излучение сердцевинки ярко выражено. Но в самой сердцевине профиль пучка имеет форму Гаусса и высокую плотность

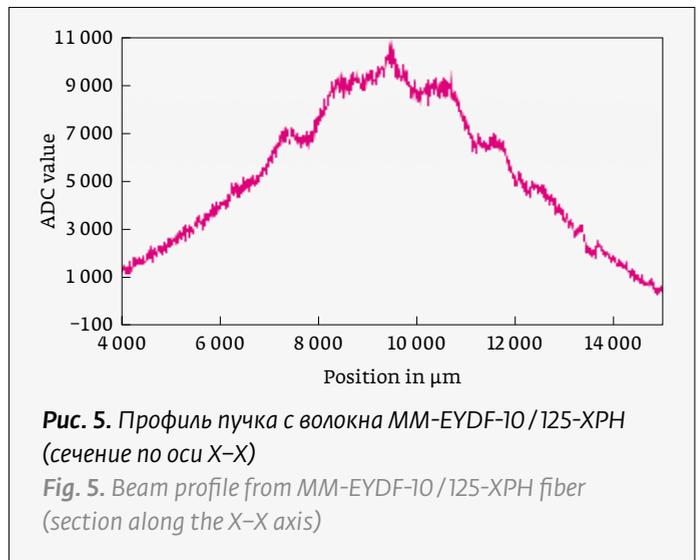


Рис. 5. Профиль пучка с волокна MM-EYDF-10/125-XPН (сечение по оси X-X)

Fig. 5. Beam profile from MM-EYDF-10/125-XPН fiber (section along the X-X axis)

cladding does not have a pronounced peak, but it is still present there (note in Fig. 5).

The shape of the radiation intensity on both the first and the second shell has a flat top. This indicates that a mode mixing function is implemented in the fiber under study, which helps to transfer energy from the passive light-guiding cladding to the active core of the fiber. The measured transfer rate was 48.6%. The presence of a cladding mode, as in Fig. 3, and the dip between the first and second light-guiding shells indicates an incomplete pumping of the radiation energy – this is a negative effect. This cladding mode will need to be filtered out using a mode stripper, e. g., during the further assembly of the laser.

For the second measurement, an MM-EYDF-10/125-XP fiber with a length of 15 cm was chosen. It was supplied with radiation with a wavelength of 976 nm and a power of 500 mW. The beam profile is shown in Fig. 6.



Вакуумное оборудование для оптики и микроэлектроники



Проектирование и производство вакуумных напылительных установок «под ключ»



Програмное обеспечение и автоматизация

Изготовление технологических устройств



Izovac

Разработка и изготовление тонкопленочных изделий

Разработка технологий формирования тонких пленок

Оптические элементы

Напылительный сервис

Сложные и уникальные покрытия

ООО «Изовак», ул. М. Богдановича, 155-907, 220040, Минск, Беларусь, тел.: +375 17 293 18 42, факс: +375 17 2931845

www.izovac.com
www.izovac-coatings.com

мощности, что может приводить к появлению нелинейных эффектов в материале волокна. Измеренное значение перекачки составило 64,8%. В профиле данного волокна не наблюдается явного наличия смещения мод, но при этом оно показывает хорошую эффективность преобразования.

ВЫВОДЫ

Исследованы несколько волокон с двойной оболочкой. Для оценки их эффективности собран лабораторный стенд с профилометром пучка WinCamD-LCM. Встроенное программное обеспечение DataRay позволило быстро и эффективно оценить профиль пучка и степень его преобразования. Исследуемые волокна показали степень преобразования в 49 и 65% соответственно.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы статьи выражают огромную благодарность компании «ЛЛС» за предоставленное оборудование.

REFERENCES

1. **Snitzer E. et al.** Double-clad, offset-core Nd fiber laser (first report of cladding pumping). *Proc. Conf. Optical Fiber Sensors*. Postdeadline paper PD5. 1988. doi.org/10.1364/OFS.1988.PD5.
2. **Ripin D. J. et al.** High efficiency side-coupling of light into optical fibres using embedded v-grooves. *Electron. Lett.* 1995; 31: 2204. doi.org/10.1049/el:19951429.
3. **Dominic V. et al** 110 W fibre laser. *Electron. Lett.* 1999; 35: 1158. doi.org/10.1049/el:19990792.
4. **Jeong Y. et al.** Ytterbium-doped large-core fiber laser with 1.36 kW continuous-wave output power. *Opt. Express*. 2004; 12 (25): 6088. doi.org/10.1364/OPEX.12.006088.
5. **Paschotta R.** case study on pump absorption in a double-clad fiber. URL: [https://www.rp-photonics.com/fiberpower_dcf.html].
6. **Valley G. C.** Modeling cladding-pumped Er/Yb fiber amplifiers. *Opt. Fiber Technol.* 2001; 7: 21. doi.org/10.1006/ofte.2000.0351.
7. **Kurkov A. S., Dianov E. M.** Medium Power CW Fiber Lasers. *Quantum Electron.* 2004; 34:10; 881–900. doi.org/10.1070/QE2004v034n10ABEH002739.

АВТОРЫ

Великоцкий Юрий Андреевич, инженер-исследователь ПАО ПНППК, магистр первого курса ПНИПУ, Пермь.
 Рахматуллина Алина Римовна, инженер-конструктор ПАО ПНППК, аспирант первого курса ПНИПУ, Пермь.
 Петухова Александра Юрьевна, инженер-конструктор ПАО ПНППК, магистр первого курса ПНИПУ, Пермь.
 Щербакова Виктория Александровна, инженер-исследователь ПАО ПНППК, аспирант первого курса ПНИПУ, Пермь.
 Ромашова Василиса Борисовна, инженер по волоконным системам АО «ЛЛС», Санкт-Петербург.
 Кашина Раёно Рустамовна, конструктор ПНППК, Пермь.
 Конин Юрий Анатольевич, инженер исследователь ПНППК, Пермь, Санкт-Петербург.

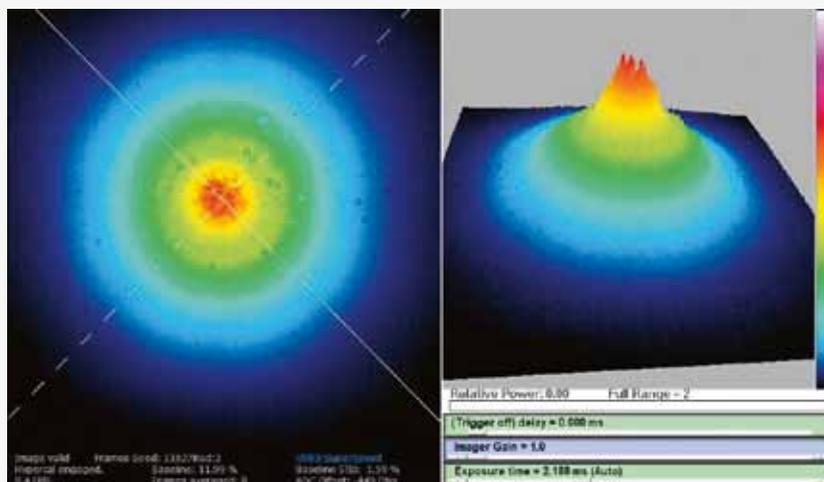


Рис. 6. Профиль пучка с волокна MM-EYDF-10/125-XP

Fig. 6. Beam profile from MM-EYDF-10/125-XP fiber

The beam profile of this fiber has a Gaussian shape, more reminiscent of a Buddhist stupa. In this profile, no interface between the claddings is observed; the radiation from the core is pronounced. However, in the core itself, the beam profile is Gaussian and has a high power density, which can lead to nonlinear effects in the fiber material. The measured transfer rate was 64.8%. There is no clear mode mixing in the profile of this fiber, but it shows good conversion efficiency.

CONCLUSIONS

Several double-clad fibers were investigated. To assess their efficiency, a laboratory bench with a WinCamD-LCM beam profilometer was assembled. The embedded DataRay software made it possible to quickly and efficiently evaluate the beam profile and the degree of its transformation. The investigated fibers showed conversion rates of 49 and 65%, respectively.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors of the article express their deep gratitude to SC “LLS” for the equipment provided.

AUTHORS

Velikotsky Yuri Andreevich, engineer researcher of PJSC PNPPK, master first year PNRPU, Perm
 Rakhmatullina Alina Rimovna, design engineer of PJSC PNPPK, postgraduate student first year PNRPU, Perm.
 Petukhova Alexandra Yurievna, design engineer of PJSC PNPPK, master first year PNRPU, Perm.
 Shcherbakova Viktoria Aleksandrovna, engineer researcher PJSC PNPPK, postgraduate first year PNRPU welfare, Perm.
 Romashova Vasilisa Borisovna, fiber systems engineer of SC “LLP”, St. Petersburg.
 Kashina Rano Rustamovna, designer of PNPPK, Perm.
 Konin Yuri Anatolievich, engineer researcher PNPPK, Perm, St. Petersburg.

18–21.10.2021

12+

В рамках проекта «Наука-Технологии-Инновации Экспо»
международная политехническая выставка

ТЕХНОФОРУМ



www.technoforum-expo.ru

Организатор

 **ЭКСПОЦЕНТР**

При поддержке:

- Государственной Думы Федерального Собрания РФ
- Министерства промышленности и торговли РФ

Под патронатом ТПП РФ

Реклама



**«Оборудование
и технологии
обработки
конструкционных
материалов»**

Россия, Москва,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»